

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum  
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum  
31. Dezember 2003 (31.12.2003)

PCT

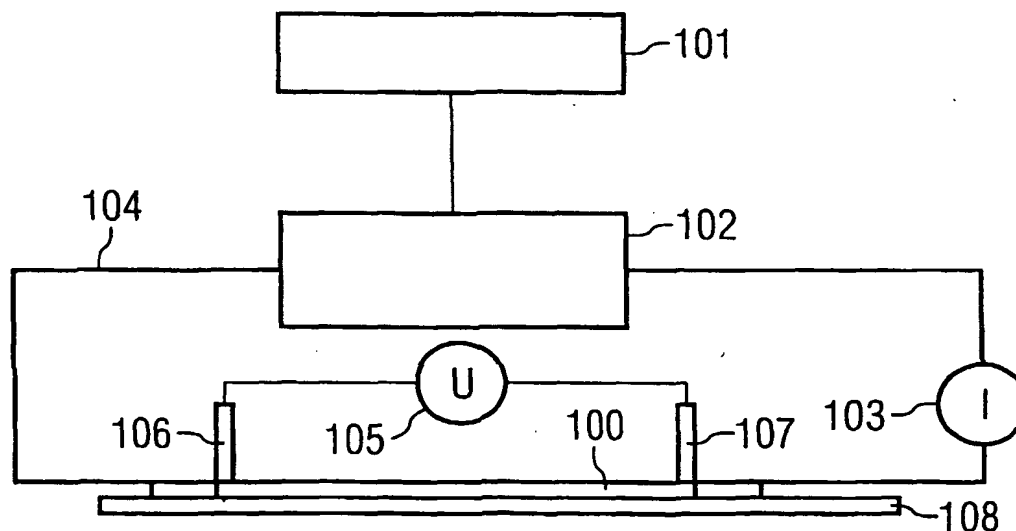
(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
WO 2004/001432 A1

- (51) Internationale Patentklassifikation<sup>7</sup>: G01R 31/316 (72) Erfinder; und  
(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE2003/002112 (75) Erfinder/Anmelder (nur für US): VON HAGEN, Jochen [DE/DE]; Ludwig-Prager-Strasse 2, 83059 Kolbermoor (DE).  
(22) Internationales Anmeldedatum: 25. Juni 2003 (25.06.2003) (74) Anwalt: KÜHN, Armin; Viering, Jentschura & Partner, Steinsdorfstrasse 6, 80538 München (DE).  
(25) Einreichungssprache: Deutsch (81) Bestimmungsstaaten (national): CN, JP, KR, SG, US.  
(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch (84) Bestimmungsstaaten (regional): europäisches Patent (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PT, RO, SE, SI, SK, TR).  
(30) Angaben zur Priorität: 102 28 284.6 25. Juni 2002 (25.06.2002) DE  
(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): INFINEON TECHNOLOGIES AG [DE/DE]; St.-Martin-Strasse 53, 81669 München (DE).  
Veröffentlicht:  
— mit internationalem Recherchenbericht

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: ELECTROMIGRATION TEST DEVICE AND ELECTROMIGRATION TEST METHOD

(54) Bezeichnung: ELEKTROMIGRATIONS-TESTVORRICHTUNG UND ELEKTROMIGRATIONS-TESTVERFAHREN



(57) Abstract: The invention relates to an electromigration test device comprising a direct-current source (101) and an alternating voltage source (102). Said device also comprises a circuit (104) which has a conductive structure (100) and is electrically coupled to the direct-current source (101) and to the alternating voltage source (102), and a measuring device for measuring an electrical parameter which indicates electromigration in the conductive structure. The alternating voltage source (102) is controlled in such a way that it subjects the conductive structure (100) to an alternating current, independently of a direct current, thus heating the conductive structure (100) to a pre-determined temperature.

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft eine Elektromigrations-Testvorrichtung, welche eine Gleichstromquelle (101) und eine Wechselspannungsquelle (102) aufweist. Ferner weist sie einen Schaltkreis (104) mit einer leitfähigen Struktur (100) auf, welcher mit der Gleichstromquelle

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]



WO 2004/001432 A1



— vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche geltenden Frist; Veröffentlichung wird wiederholt, falls Änderungen eintreffen

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

---

(101) und der Wechselspannungsquelle (102) elektrisch gekoppelt ist und eine Messeinrichtung zum Messen eines elektrischen Parameters, welcher für Elektromigration in der leitfähigen Struktur indikativ ist. Die Wechselspannungsquelle (102) ist eingerichtet, dass sie die leitfähige Struktur (100), unabhängig von einem Gleichstrom, einem Wechselstrom aussetzt und so die leitfähige Struktur (100) auf eine vorgegebene Temperatur heizt.

## **Beschreibung**

### **Elektromigrations-Testvorrichtung und Elektromigrations-Testverfahren**

Die Erfindung betrifft eine Elektromigration-Testvorrichtung und ein Elektromigrations-Testverfahren.

Mit den steigenden Ansprüchen an mikroelektronische Bauelemente wird den Tests zum Bestimmen der Leiterbahnzuverlässigkeit zunehmend größere Aufmerksamkeit geschenkt. Ein Mechanismus, welcher Bauelemente schädigen kann ist die Elektromigration. Unter Elektromigration wird der Materialtransport innerhalb einer Leiterbahn unter Einwirkung des elektrischen Stroms verstanden. Der Materialtransport findet in Richtung des Flusses der Elektronen statt. Diese reißen die Gitteratome des Leiterbahnmaterials aufgrund des entstehenden sogenannten Elektronenwindes mit. Dieser Materialtransport kann zu verschiedenen Schädigungen führen. Eine Schädigung sind zum Beispiel sogenannte Voids, d.h. Lücken innerhalb der Gitterstruktur, und sich daraus entwickelnde Unterbrechungen in der Leiterbahn. Ein weiteres Beispiel sind sogenannte Extrusionen, d.h. seitliche Ausflüsse von Leiterbahnmaterial aus der eigentlichen Leiterbahn. Diese Extrusionen können zu Kurzschlüssen zwischen nebeneinander liegenden Leiterbahnen und damit zum Ausfall des Bauelements führen. Die Größe der Elektromigration ist ein die Lebensdauer des elektronischen Bauelements bestimmender Parameter.

Die Stärke des Elektromigration-Prozesses hängt hauptsächlich von dem Material der Leiterbahn, der Temperatur und der elektrischen Stromdichte in der Leiterbahn ab, wobei der Grad der Elektromigration mit steigender Temperatur und steigender elektrischer Stromdichte zunimmt. Für die Stärke des

Elektromigration-Prozesses ist der Gleichstromanteil der elektrischen Stromdichte entscheidend. Ein symmetrischer Wechselstrom beeinflusst die Stärke der Elektromigration kaum. Elektromigration, welche durch einen symmetrischen Wechselstrom hervorgerufen wird, tritt 100 bis 1000 mal langsamer auf, als eine Elektromigration, welche mittels eines Gleichstrom hervorgerufen wird [1]. Hieraus ergibt sich, dass bei einer Überlagerung eines Wechselstroms und eines Gleichstroms, die Größe der Elektromigration von der elektrischen Stromdichte, welche mittels des Gleichstroms hervorgerufen wird, dominiert wird. Dies kann man sich anschaulich damit erklären, dass der sogenannte Elektronenwind eine Vorzugsrichtung aufweisen muss, damit er das Material der leitfähigen Struktur effektiv in eine Richtung mitreißen kann. Ein symmetrischer Wechselstrom besitzt jedoch keine solche Vorzugsrichtung des Elektronenwinds.

Für moderne Zuverlässigkeitstests werden während der Produktion von integrierten elektronischen Schaltungen Tests an speziellen Teststrukturen durchgeführt. Die Teststrukturen werden im Allgemeinen zusammen mit den eigentlichen Bauelementen auf den gleichen Substrat und aus den gleichen Materialien wie die Bauelemente hergestellt. Die Teststrukturen unterliegen somit dem gleichen Herstellungsprozessen und können dazu dienen die Elektromigration-Festigkeit ähnlicher Leiterbahnen im Endprodukt zu beurteilen.

Gemäß dem Stand der Technik wird für jeden möglichen Schädigungsmechanismus, der an einer leitfähigen Struktur durch Elektromigration hervorgerufen wird, eine spezielle Teststruktur verwendet, welche dann im Test einer erhöhten Belastung (Stress) unterworfen wird, indem Parameter, welche die Elektromigration beeinflussen, künstlich beeinflusst

werden, so dass die Elektromigration verstärkt wird. Somit können innerhalb kurzer Zeit Aussagen über die Elektromigration-Festigkeit erhalten werden.

Zum Untersuchen der Größe der Elektromigration werden die Teststrukturen (z.B. Metallleiterbahnen) aus dem Wafer ausgesägt und in Keramikgehäuse montiert. Die Keramikgehäuse werden auf Platinen gesteckt. Nachfolgend werden die Platinen in einem Messaufbau angeordnet und, in geeigneten Heizöfen eingebracht, Elektromigrationstests unterworfen. Hierzu werden die Teststrukturen einem konstanten Gleichstrom ausgesetzt.

Eine Schädigung, welche durch Elektromigration hervorgerufen werden kann, ist wie oben erwähnt zum Beispiel die Ausbildung von sogenannten Voids, d.h. Lücken innerhalb der Gitterstruktur und daraus erwachsender Unterbrechungen der leitfähigen Struktur z.B. Leiterbahnen einer integrierten Schaltung. Zum Untersuchen solcher Schädigungen, wird z.B. eine einfache Leiterbahn mit ihren entsprechenden Anschlüssen verwendet. Die Leiterbahn wird unter Stress, d.h. erhöhter Temperatur und erhöhter Stromdichte, gesetzt. Hierbei wird die Zeit, welche bis zum Versagen der Teststruktur vergeht, gemessen. Diese Zeit liefert ein Maß für die Stärke der Elektromigration-Prozesse, denen ein Bauteil unterlag. Mittels der Zeit bis zum Versagen der Struktur und der Blackschen Gleichung kann die durchschnittliche Lebensdauer der Struktur unter normalen Betriebsbedingungen berechnet werden.

Eine weitere Schädigung, welche durch Elektromigration hervorgerufen werden kann, ist wie erwähnt zum Beispiel ein Auftreten von sogenannten Extrusionen, d.h. ein Ausfluss von Material aus der Leiterbahn unter Einwirkung der Elektromigration. Die Extrusionen können zu Kurzschlüssen und

damit zum Ausfall einer auf dem Wafer sich befindenden elektronischen Schaltung führen.

Ein Nachteil der Testvorrichtungen gemäß dem Stand der Technik liegt darin, dass die Teststrukturen, d.h. leitfähige Strukturen, deren Anfälligkeit für Elektromigration untersucht werden soll, erst für den Test präpariert werden müssen. Die Teststrukturen werden ausgesägt und nachfolgend in einer Testvorrichtung wieder montiert. Diese Schritte sind sowohl arbeitsaufwendig als auch zeitaufwendig und damit auch kostenintensiv. Die verwendeten Platinen für die Testvorrichtung müssen des Weiteren auch hitzbeständig sein. Dies führt dazu, dass die Temperatur nur bis etwa 400°C erhöht werden kann, da es keine Platinen gibt, welche eine höhere Temperatur unbeschadet überstehen. Auch für diese Temperaturen stehen nur wenige Platinen bereit, welche dieser Temperatur einer längeren Zeit widerstehen. Damit sind Temperaturen von mehr als 350°C industriell nicht handhabbar.

Weiterhin ist der Stress, anders ausgedrückt, die Belastung, welcher der Teststruktur auferlegt werden kann, durch die begrenzte Temperatur beschränkt und somit benötigen die Tests eine längere Zeit, bis eine stichhaltige Aussage über das Ausmaß der Elektromigration in der Teststruktur getroffen werden kann.

Ein weiterer Nachteil ist die Notwendigkeit eines externen Ofens zum Heizen der Platine bzw. der Teststruktur. Die verwendeten Heizöfen sind kompliziert und deren Verwendung verursacht zusätzliche Kosten beim Durchführen der Untersuchung der Elektromigration.

Im Stand der Technik sind auch sogenannte selbstheizende Teststrukturen bekannt. Bei diesen Teststrukturen wird

ausgenutzt, dass sich die Teststrukturen mittels des Gleichstroms, welcher als Stressquelle für die Teststruktur dient, wegen des ohmschen Widerstands der zu testenden leitfähigen Struktur aufheizt. Hierdurch kann bei einer selbstheizenden Teststruktur ein externer Heizofen entfallen.

Diese selbstheizenden Teststrukturen, weisen jedoch den Nachteil auf, dass bei Ihnen zwei der Größen, welche die Elektromigration beeinflussen, miteinander gekoppelt sind. Es ist nicht möglich, die elektrische Stromdichte in der leitfähigen Struktur unabhängig von der Temperatur zu erhöhen. Jede Erhöhung der elektrischen Stromdichte führt auch zu einer Erhöhung der Temperatur der leitfähigen Teststruktur. Dies führt zu einer Einschränkung des Parameterraumes der zu untersuchenden Größen, welche Einschränkung nicht hinnehmbar ist.

In J.A. Maiz [2] wird die Auswirkung eines asymmetrischen Stroms auf die Elektromigration untersucht. Als Ergebnis ergibt sich, dass der äquivalente Gleichstrom eines asymmetrischen Stroms durch den Mittelwert des Stroms des Signals gegeben ist.

Aus US 4,739,258 eine Elektromigrations-Testvorrichtung bekannt, bei welcher auf der Waferebene eine Anzahl von integrierten Schaltkreisen implementiert sind, welche jeder eine Dünnschicht-Leiterbahn aufweist. Die Testvorrichtung wird mittels eines externen Heizers geheizt und die Änderung des Widerstandes der Dünnschicht-Leiterbahn wird über der Temperatur aufgetragen.

Der Erfindung liegt das Problem zugrunde, eine einfache Testvorrichtung bereitzustellen, mittels derer ohne einen externen Ofen die Temperatur geregelt werden kann. Bei der

Teststruktur soll jedoch keine unerwünschte Koppelung der beiden Größen Temperatur und elektrischer Stromdichte, wie sie bei einer selbstheizenden Teststruktur gemäß dem Stand der Technik auftritt, auftreten.

Das Problem wird durch eine Elektromigrations-Testvorrichtung und ein Elektromigrations-Testverfahren mit den Merkmalen gemäß den unabhängigen Patentansprüchen gelöst.

Eine erfindungsgemäße Elektromigrations-Testvorrichtung weist eine Gleichstromquelle und eine Wechselstromquelle auf. Weiterhin weist die Testvorrichtung einen Schaltkreis auf. Dieser weist mindestens eine zu testende leitfähige Struktur auf, welche mit der Gleichstromquelle und der Wechselstromquelle elektrisch leitend verbunden ist. Ferner weist die Testvorrichtung eine Messeinrichtung auf, die derart eingerichtet ist, dass sie einen elektrischen Parameter erfasst, welcher Parameter für eine Elektromigration in der Teststruktur indikativ ist. In der Elektromigrations-Testanordnung ist die Wechselspannungsquelle derart eingerichtet, dass sie die zu testende leitfähige Struktur, unabhängig von einem Gleichstrom der Gleichstromquelle, einem Wechselstrom aussetzt. Mittels des von der Wechselspannungsquelle erzeugten Wechselstroms wird die zu testende leitfähige Struktur auf eine vorgebbare, vorzugsweise einstellbare, Temperatur aufgeheizt.

Ein erfindungsgemäßes Verfahren zum Testen einer leitfähigen Struktur auf Elektromigration weist folgende Schritte auf. Eine zu testende leitfähige Struktur wird an einen elektrischen Schaltkreis elektrisch gekoppelt, welcher elektrischer Schaltkreis mit einer Gleichstromquelle und einer Wechselstromquelle elektrisch gekoppelt ist. In einem zusätzlichen Schritt wird die zu testende leitfähige Struktur



einem elektrischen Gleichstrom ausgesetzt, welcher Gleichstrom die Elektromigration innerhalb der zu testenden leitfähigen Struktur bewirkt. Ferner weist das erfindungsgemäße Verfahren ein Heizen der zu testenden leitfähigen Struktur mittels eines von der Wechselspannungsquelle erzeugten Wechselstroms auf, wobei der Wechselstrom unabhängig von dem Gleichstrom ist, welcher die Elektromigration innerhalb der zu testenden leitfähigen Struktur verursacht. Ferner weist das erfindungsgemäße Verfahren den Schritt eines Erfassens eines elektrischen Parameters auf, welcher Parameter für die Elektromigration innerhalb der zu testenden leitfähigen Struktur indikativ ist.

Mittels der Vorrichtung und dem Verfahren wird eine einfache Testvorrichtung bereitgestellt, mittels derer ohne Verwenden eines externen Ofens die Temperatur geregelt wird. Dadurch wird die unerwünschte Koppelung der beiden Größen Temperatur und elektrischer Stromdichte, wie sie bei einer selbstheizenden Teststruktur gemäß dem Stand der Technik auftritt, umgangen. Der vorzugsweise symmetrische, elektrische Wechselstrom, welcher dem Heizen der zu testenden leitfähigen Struktur dient, ruft selber keine Elektromigration in der zu testenden Struktur hervor. Mit der erfindungsgemäßen Teststruktur kann die Temperatur, welcher die zu testende Struktur ausgesetzt wird, auf deutlich mehr als 400°C erhöht werden, da bei der Vorrichtung und dem Verfahren nur die zu untersuchende elektrisch leitfähige Struktur geheizt wird. Die Platine selber wird keiner erhöhten Temperatur ausgesetzt. Hierdurch entfallen auch die Probleme und Einschränkungen (z.B. Hitzebeständigkeit), welche bei Teststrukturen gemäß dem Stand der Technik bei der Auswahl der Platinen auftreten.

Ein weiterer Vorteil der erfindungsgemäßen Vorrichtung gegenüber einer Vorrichtung gemäß dem Stand der Technik ist

es, dass dadurch, dass die Temperatur auf höhere Werte gebracht werden kann, die einzelnen Tests der zu testenden leitfähigen Strukturen in einer kürzeren Zeit durchgeführt werden können. Mittels der erfindungsgemäßen Testvorrichtung sind Untersuchungen der Elektromigration in Zeiträumen im Minutenbereich vorzugsweise in einem Zeitraum von 10 Minuten bis 100 Minuten möglich. Die Kürze der Zeitspannen ermöglicht es, dass die Tests direkt auf der Scheibenebene (Wafer) durchgeführt werden können. Dies führt zu einer weiteren Kosteneinsparung, da die oben erwähnten umfangreichen Aktionen zum Präparieren der zu testenden leitfähigen Struktur entfallen.

Bevorzugte Weiterbildungen der Erfindung ergeben sich aus den abhängigen Ansprüchen.

Im Weiteren wird die erfindungsgemäße Elektromigrations-Testvorrichtung näher beschrieben. Ausgestaltungen der Elektromigrations-Testvorrichtung gelten auch für das Verfahren zum Testen einer leitfähigen Struktur auf Elektromigration.

In der erfindungsgemäßen Elektromigrations-Testvorrichtung ist der elektrisch leitfähige Parameter vorzugsweise ein elektrischer Widerstand der zu testenden leitfähigen Struktur.

Die erfindungsgemäße Elektromigrations-Testvorrichtung weist vorzugsweise ferner eine Auswerteeinheit zum Ermitteln einer elektrischen Leistung auf. Die Auswerteeinheit weist vorzugsweise eine Spannungsmesseinrichtung und eine Strommesseinrichtung auf. Die Spannungsmesseinrichtung und die Strommesseinrichtung werden so in den Schaltkreis eingebracht, dass die Strommesseinrichtung einen elektrischen Effektivstrom, welcher durch die zu testende leitfähige

Struktur fließt, misst, und dass die Spannungsmesseinrichtung eine elektrische Effektivspannung erfasst, welche an der zu testenden leitfähigen Struktur anliegt. Die zu testende leitfähige Struktur besteht vorzugsweise aus Aluminium, Kupfer oder einer Legierung aus Kupfer und Aluminium oder anderen elektrisch leitfähigen Materialien wie z.B. Gold oder Silber.

Die erfindungsgemäße Testvorrichtung weist ferner vorzugsweise eine Steuerungseinrichtung auf. Die Steuerungseinrichtung ist derart eingerichtet, dass sie die Wechselspannungsquelle derart steuert und/oder regelt, dass die Temperatur der zu testenden leitfähigen Struktur eingestellt und konstant auf einem vorgegebenen Niveau gehalten wird.

Zumindest ein Teil der Komponenten der erfindungsgemäßen Testvorrichtung sind vorzugsweise auf einem Halbleiterwafer angeordnet.

Vorzugsweise ist die Wechselstromquelle in einem Pulsgenerator integriert. In den Pulsgenerator ist vorzugsweise auch die Gleichspannungsquelle integriert. D.h. der Pulsgenerator ist vorzugsweise als eine mit einem Offset versehene Wechselstromquelle ausgebildet.

Vorzugsweise ist die Wechselspannungsquelle derart eingerichtet, dass sie einen Wechselstrom erzeugt mit einer Frequenz zwischen 1 kHz und 200 kHz, besonders bevorzugt mit 5 kHz.

Weiter vorzugsweise weist die erfindungsgemäße Elektromigrations-Testvorrichtung zusätzlich einen Heizofen oder Heizplatte auf, welcher derart eingerichtet, dass er die zu testende leitfähige Struktur heizt. Mittels dieses

Heizofens kann eine Offsettemperatur eingestellt werden. Diese beträgt vorzugsweise ungefähr 200°C bis 250°C.

Ein Ausführungsbeispiel der Erfindung ist in den Figuren dargestellt und wird im Weiteren näher erläutert.

Es zeigen:

Figur 1 eine Elektromigrations-Testvorrichtung gemäß einem Ausführungsbeispiel der Erfindung;

Figur 2 eine Messkurve eines Widerstandes einer leitfähigen Struktur über die Zeit.

Bezugnehmend auf **Figur 1** wird eine Elektromigrations-Testvorrichtung gemäß einem Ausführungsbeispiel der Erfindung näher beschrieben.

. Die Elektromigrations-Testvorrichtung weist einen Wafer 108 mit einer zu testenden leitfähigen Struktur 100 auf. Die zu testende leitfähige Struktur besteht aus Aluminium.

Ferner weist die Testvorrichtung eine Gleichstromquelle 101 auf. Die Gleichstromquelle 101 ist mit der zu testenden leitfähigen Struktur 100 elektrisch leitend verbunden. Die Gleichstromquelle 101 dient dazu, die leitfähigen Struktur 100 unter Stress zu setzen. D.h. die elektrisch leitfähige Struktur 100 wird mittels eines angelegten Gleichstroms der Gleichstromquelle Bedingungen ausgesetzt, welche die Elektromigration in der leitfähigen Struktur 100 beschleunigen. Diese Stressbedingung ist eine gegenüber einem Normalbetrieb eines elektronischen Bauteils erhöhte elektrische Stromdichte.

Weiterhin weist die Testvorrichtung einen Pulsgenerator 102 auf. Dieser ist zwischen die Gleichstromquelle 101 und die zu testende leitfähige Struktur 100 geschaltet. Der Pulsgenerator 102 überlagert dem Gleichstrom, welcher als Stressstrom dient, einen symmetrischen Wechselstrom. Der symmetrische Wechselstrom wird verwendet, um mittels eines ohmschen Widerstandes der elektrisch leitfähigen Struktur 100 die elektrisch leitfähige Struktur aufzuheizen. Da der Pulsgenerator einen symmetrischen Wechselstrom zur Verfügung stellt, wird die Elektromigration kaum durch die elektrische Stromdichte, welche durch den Wechselstrom bewirkt wird, beeinflusst. Die einzige Wirkung des Wechselstroms ist das Aufheizen der zu testenden leitfähigen Struktur 100. Die im Ausführungsbeispiel eingestellte Temperatur ist 262°C. Die Temperatur wird im Ausführungsbeispiel mittels Erfassens der thermischen Widerstandserhöhung der leitfähigen Struktur ermittelt. Gegebenenfalls wird die Höhe des Wechselstromes nachgeregelt, so dass eine konstante Temperatur und damit konstante Stressbedingungen für die elektrisch leitfähige Struktur beibehalten werden. Die Höhe des für das Heizen auf diese Temperatur benötigten Wechselstromes beträgt 23,3 mA. Die Frequenz des Wechselstroms beträgt 5 kHz. Der Gleichstrom, welcher als Stressstrom dient beträgt 0,5 mA.

Ferner weist die Testvorrichtung eine Strommesseinrichtung 103 auf. Die Strommesseinrichtung 103 ist in einem Schaltkreis 104 integriert, welcher die zu testende leitfähige Struktur 100, die Gleichstromquelle 101 und den Pulsgenerator 102 elektrisch leitend koppelt. Mittels der Strommesseinrichtung 103 wird der Effektivstrom erfasst, welcher durch die leitfähige Struktur 100 fließt.

Weiterhin weist die erfindungsgemäße Elektromigrations-Testvorrichtung eine Spannungsmesseinrichtung 105 auf. Die

Spannungsmesseinrichtung 105 erfasst die elektrische Effektivspannung, welche zwischen einem ersten Spannungsabgriff 106 und einem zweiten Spannungsabgriff 107, von denen einer der Spannungsabgriffe im Anfangsbereich und der andere Spannungsabgriff im Endbereich der leitfähigen Struktur angeordnet sind, an der elektrisch leitfähigen Struktur 100 abfällt.

Weiterhin weist die erfindungsgemäße Elektromigrations-Testvorrichtung einen Computer (nicht gezeigt) auf. Der Computer liest von der Spannungsmesseinrichtung 105 und der Strommeseinrichtung 104 erfasste Werte ein. Mittels der erfassten und eingelesenen Werte bestimmt der Computer einen Widerstand der zu testenden leitfähigen Struktur 100. Über den so bestimmten Widerstand wird auch die Temperatur der zu testenden leitfähigen Struktur (Stresstemperatur) bestimmt. Ferner ist der Computer so eingerichtet, dass er die Höhe des Wechselstromes so nachregelt, dass die Stresstemperatur konstant ist.

Die zu testende leitfähige Struktur 100 ist direkt auf der Scheibenebene eines Halbleiterwafers angeordnet.

**Figur 2** zeigt den zeitlichen Verlauf des mittels der erfindungsgemäßen Elektromigrations-Testvorrichtung bestimmten Widerstands der zu testenden elektrisch leitfähigen Struktur 100. Die Parameter für die Bestimmung des Widerstandes waren ein Wechselstrom von 23,3 mA, dies entspricht einer Temperatur von 262°C. Der auferlegte Stressesstrom ist 0,5 mA. Der Test wurde über einen Zeitraum von rund 10.000 s durchgeführt. Es ist deutlich ein sprunghafter Anstieg 209 des bestimmten Widerstandes gegen Ende der Messperiode zu erkennen.

Zu diesem Zeitpunkt hat die Elektromigration eine Schädigung der zu testenden elektrisch leitfähigen Struktur verursacht, in deren Folge ein oder mehrere Voids eine drastische Verringerung des leitenden Materials im Leitungsquerschnitt hervorrufen. Dadurch steigt der Widerstand schlagartig an. . Ein Test zum Untersuchen der Elektromigration dauert vorzugsweise solange bis eine signifikante Erhöhung des elektrischen Widerstandes registriert wird.

Zusammenfassend schafft die Erfindung eine Elektromigrations-Testvorrichtung, welche einen schnellen, einfachen und kostengünstigen Test von auf Elektromigration zu testenden leitfähigen Strukturen ermöglicht. Die erfindungsgemäße Elektromigrations-Testvorrichtung benötigt einerseits keinen externen Heizofen zum Heizen der zu testenden leitfähigen Struktur. Andererseits zeigt die erfindungsgemäße Ausführungsform aber auch nicht den Nachteil der selbstheizenden Teststrukturen gemäß dem Stand der Technik, dass die beiden Parameter Temperatur und elektrische Stromdichte, welche die Elektromigration in der zu testenden leitfähigen Struktur beeinflussen, gekoppelt sind.

In diesem Dokument ist folgendes Dokument zitiert:

- [1] Electromigration under Time-Varying Current Stress,  
T. Jiang et al., Microelectronics Reliability **38 (3)**  
(1998) pp. 295-308
- [2] Characterization of Electromigration under Bidirectional  
(BC) and Pulsed Unidirectional (PDC) Currents,  
J.A. Maiz, Reliability Physics Symposium, 27<sup>th</sup> Annual  
Proceedings, April 1989, pp. 220-228



**Bezugszeichenliste**

100	zu testende leitfähige Struktur
101	Gleichstromquelle
102	Pulsgenerator
103	Strommesseinrichtung
104	Stromkreis
105	Spannungsmesseinrichtung
106	ersten Spannungsabgriff
107	zweiter Spannungsabgriff
108	Wafer
209	sprunghafter Anstieg des Widerstandes

**Patentansprüche**

1. Elektromigrations-Testvorrichtung, welche aufweist:  
eine Gleichstromquelle;  
eine Wechselspannungsquelle;  
einen Schaltkreis mit mindestens einer zu testenden leitfähigen Struktur, welcher mit der Gleichstromquelle und der Wechselspannungsquelle elektrisch gekoppelt ist; und  
eine Messeinrichtung, die derart eingerichtet ist, dass sie einen elektrischen Parameter, welcher für eine Elektromigration in der zu testenden leitfähigen Struktur indikativ ist, erfasst;  
wobei die Wechselspannungsquelle derart eingerichtet ist, dass sie die zu testende leitfähige Struktur, unabhängig von einem Gleichstrom der Gleichstromquelle, einem Wechselstrom aussetzt und so die zu testende leitfähige Struktur auf eine vorgegebene einstellbare Temperatur heizt.
2. Vorrichtung gemäß Anspruch 1, wobei der elektrische Parameter ein Widerstand der zu testenden leitfähigen Struktur ist.
3. Vorrichtung gemäß Anspruch 1 oder 2, welche weiterhin eine Auswerteeinheit zum Ermitteln einer elektrischen Leistung aufweist, wobei die Auswerteeinheit eine Spannungsmesseinrichtung und eine Strommesseinrichtung aufweist, welche so in den Schaltkreis implementiert sind, dass mittels dieser ein Effektivstrom durch die zu testende leitfähige Struktur und eine Effektivspannung, welche an der zu testenden leitfähigen Struktur anliegt, erfassbar sind.

4. Vorrichtung gemäß einem der Ansprüche 1 bis 3, wobei eine Steuerungseinrichtung vorgesehen ist, welche derart eingerichtet ist, dass die Steuerungseinrichtung die Wechselspannungsquelle derart steuert, dass die Temperatur der zu testenden leitfähigen Struktur konstant gehalten werden kann.
5. Vorrichtung gemäß einem der Ansprüche 1 bis 4, wobei die zu testende leitfähige Struktur auf oder in einem Halbleiterwafer angeordnet ist.
6. Vorrichtung gemäß einem der Ansprüche 1 bis 5, wobei die Wechselstromquelle und die Gleichstromquelle in einen Pulsgenerator integriert sind.
7. Vorrichtung gemäß einem der Ansprüche 1 bis 6, welche weiterhin einen Heizofen aufweist, der derart eingerichtet ist, dass er die zu testende leitfähige Struktur heizt.
8. Verfahren zum Testen einer leitfähigen Struktur auf Elektromigration, welches folgende Schritte aufweist:
  - elektrisches Koppeln einer zu testenden leitfähigen Struktur mit einem elektrischen Schaltkreis, welcher mit einer Gleichstromquelle und einer Wechselstromquelle elektrisch gekoppelt ist;
  - Versorgen der zu testenden leitfähigen Struktur mit einem Gleichstrom, welcher die Elektromigration innerhalb der zu testenden leitfähigen Struktur verursacht;
  - Heizen der zu testenden leitfähigen Struktur mittels des Wechselstroms, wobei der Wechselstrom unabhängig von einem Gleichstrom ist, welcher Gleichstrom die Elektromigration innerhalb der zu testenden leitfähigen Struktur bewirkt;
  - und
  - Erfassen eines elektrischen Parameters, welcher für die

Elektromigration innerhalb der zu testenden leitfähigen Struktur indikativ ist.

9. Verfahren gemäß Anspruch 8, wobei als elektrischer Parameter ein Widerstand der zu testenden leitfähigen Struktur erfasst wird.
10. Verfahren gemäß Anspruch 8 oder 9, bei dem als weitere Schritte ein Effektivstrom in der zu testenden leitfähigen Struktur und eine Effektivspannung, welche an der zu testenden leitfähigen Struktur anliegt, erfasst werden und daraus eine elektrische Leistung bestimmt wird.
11. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 8 bis 10, wobei mittels der Auswerteeinheit die Temperatur der zu testenden leitfähigen Struktur auf einen konstanten Wert geregelt wird.
12. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 8 bis 11, wobei die zu testende leitfähige Struktur auf oder in einem Halbleiterwafer gebildet wird.

FIG 1

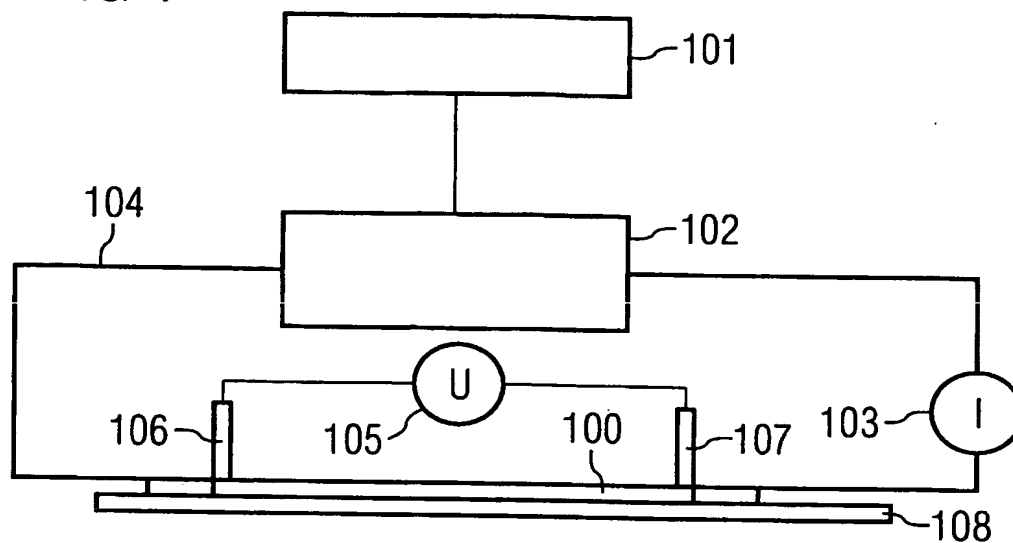
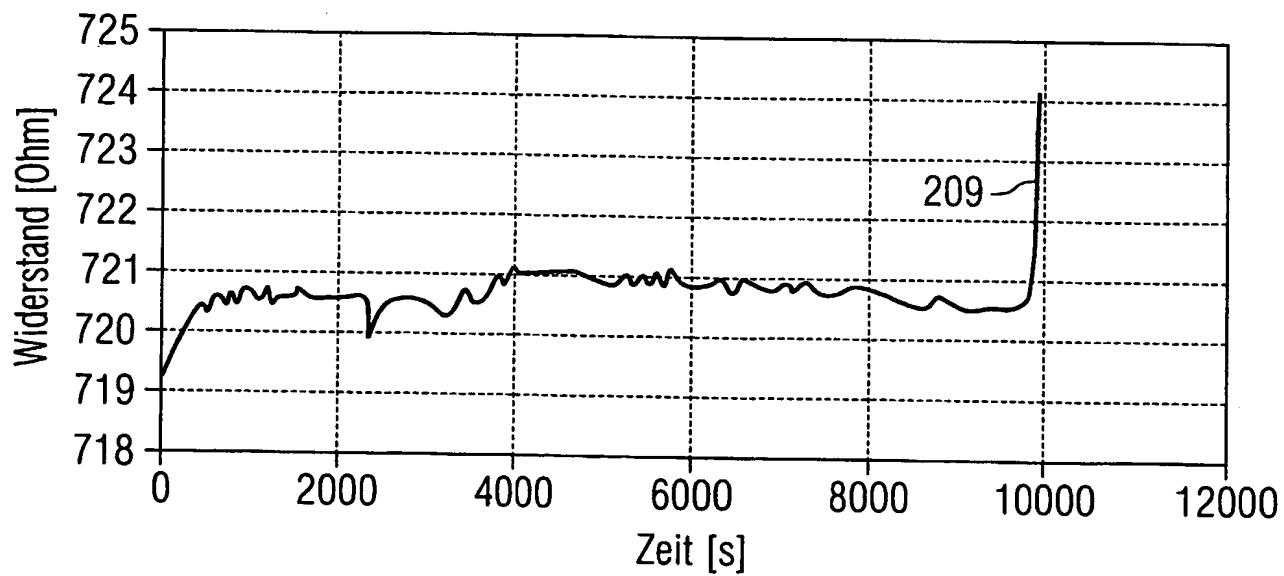


FIG 2



## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/DE 02112

**A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**  
 IPC 7 G01R31/316

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

**B. FIELDS SEARCHED**

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 7 G01R

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal, PAJ, WPI Data, INSPEC

**C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT**

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	TAO J ET AL: "ELECTROMIGRATION UNDER TIME-VARYING CURRENT STRESS" MICROELECTRONICS AND RELIABILITY, ELSEVIER SCIENCE LTD, GB, vol. 38, no. 3, 1998, pages 295-308, XP008025212 ISSN: 0026-2714 cited in the application abstract	1,2,6-9
Y	page 305, column 2, line 12 -page 307, column 1, line 7 --- -/--	3-5, 10-12

☒ Further documents are listed in the continuation of box C.

☒ Patent family members are listed in annex.

## \* Special categories of cited documents:

- \*A\* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- \*E\* earlier document but published on or after the international filing date
- \*L\* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- \*O\* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- \*P\* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- \*T\* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- \*X\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- \*Y\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
- \*G\* document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

1 December 2003

Date of mailing of the international search report

12/12/2003

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2  
 NL - 2280 HV Rijswijk  
 Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
 Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Koll, H

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/D /02112

## C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category °	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JONES, ROBERT E., SMITH, LARRY D.: "A new wafer isothermal Joule-heated electromigration test for rapid testing of integrated-circuit interconnect" JOURNAL OF APPLIED PHYSICS, vol. 61, 1 May 1987 (1987-05-01), pages 4670-4678, XP002263291 New York, USA	3-5, 10-12
A	page 4672, column 2, line 40 -page 4673, column 1, line 60; figure 1 ---	1,2,6-9
A	US 5 291 142 A (OHMI TADAHIRO) 1 March 1994 (1994-03-01) column 2, line 51 -column 3, line 54; figures 2,3 ---	1-3,7-10
A	MAIZ J A: "Characterization of electromigration under bidirectional (BC) and pulsed unidirectional (PDC) currents" IEEE, 11 April 1989 (1989-04-11), pages 220-228, XP010080614 cited in the application the whole document -----	1,2,8,9

### Information for patent family members

PCT/DE/02112

Form PCT/ISA/210 (patent family annex) (July 1992)



# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/DE/02112

## A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES

IPK 7 G01R31/316

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

## B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)

IPK 7 G01R

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal, PAJ, WPI Data, INSPEC

## C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	TAO J ET AL: "ELECTROMIGRATION UNDER TIME-VARYING CURRENT STRESS" MICROELECTRONICS AND RELIABILITY, ELSEVIER SCIENCE LTD, GB, Bd. 38, Nr. 3, 1998, Seiten 295-308, XP008025212 ISSN: 0026-2714 in der Anmeldung erwähnt	1,2,6-9
Y	Zusammenfassung  Seite 305, Spalte 2, Zeile 12 -Seite 307, Spalte 1, Zeile 7  ---  -/--	3-5, 10-12



Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen



Siehe Anhang Patentfamilie

\* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

\*A\* Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

\*E\* älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

\*L\* Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

\*O\* Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

\*P\* Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

\*T\* Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

\*X\* Veröffentlichung von besonderer Bedeutung, die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

\*Y\* Veröffentlichung von besonderer Bedeutung, die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

\*A\* Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

1. Dezember 2003

Absenddatum des internationalen Recherchenberichts

12/12/2003

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde

Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Koll, H

## C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie°	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
Y	JONES, ROBERT E., SMITH, LARRY D.: "A new wafer isothermal Joule-heated electromigration test for rapid testing of integrated-circuit interconnect" JOURNAL OF APPLIED PHYSICS, Bd. 61, 1. Mai 1987 (1987-05-01), Seiten 4670-4678, XP002263291 New York, USA	3-5, 10-12
A	Seite 4672, Spalte 2, Zeile 40 -Seite 4673, Spalte 1, Zeile 60; Abbildung 1 ---	1,2,6-9
A	US 5 291 142 A (OHMI TADAHIRO) 1. März 1994 (1994-03-01) Spalte 2, Zeile 51 -Spalte 3, Zeile 54; Abbildungen 2,3 ---	1-3,7-10
A	MAIZ J A: "Characterization of electromigration under bidirectional (BC) and pulsed unidirectional (PDC) currents" IEEE, 11. April 1989 (1989-04-11), Seiten 220-228, XP010080614 in der Anmeldung erwähnt das ganze Dokument -----	1,2,8,9

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zu dieser Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/DK/02112

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 5291142	A	01-03-1994	KEINE